

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-246580

(43)公開日 平成7年(1995)9月26日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

B 25 J 9/06

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

D

審査請求 未請求 請求項の数3 FD (全12頁)

(21)出願番号 特願平6-68192

(22)出願日 平成6年(1994)3月14日

(71)出願人 000002185

ソニーリミテッド

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 木村 明

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニーリミテッド

(72)発明者 富永 守雄

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニーリミテッド

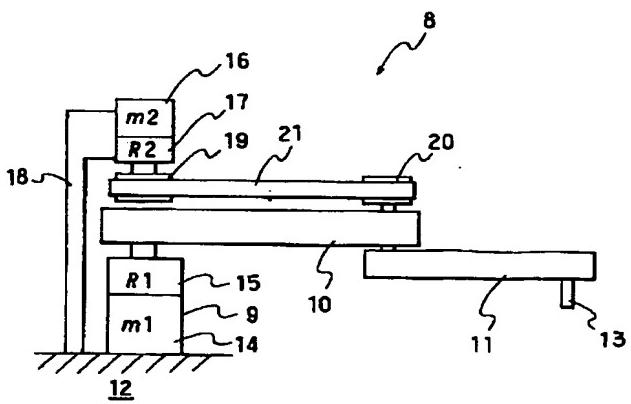
(74)代理人 弁理士 小松 祐治

(54)【発明の名称】 多関節型ロボット

(57)【要約】

【目的】 多関節型ロボットにおいてアーム間又はアームとツールとの間の力学的な干渉をなくし又は低減する。

【構成】 ロボット8は、基台12上に設置された基軸部9と、該基軸部9に回動可能な状態で取り付けられた第1アーム10と、第1アーム10に回動可能な状態で取り付けられた第2アーム11とを有する。第2アーム11を回動させるためのモータ16及びハーモニック減速機17を基台12又は基軸部9に固定するとともに、モータ16の駆動軸と第1アーム10を回動させるモータ14の駆動軸とが略同軸になるように配置し、モータ16の駆動力を第2アーム11の回動軸に伝達する。そして、第2アーム11の重心が第2アーム11の回動軸上に位置するようにバランス設定を行う。



(2)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基台上に設置された基軸部と、該基軸部に回動可能な状態で取り付けられた第1の回動体と、第1の回動体に回動可能な状態で取り付けられた第2の回動体とを備えた多関節型ロボットにおいて、(イ) 第2の回動体を回動させるための駆動手段を基台又は基軸部に固定するとともに、該第2の回動体の駆動手段の駆動軸と第1の回動体の駆動手段の駆動軸とが略同軸になるように配置し、第2の回動体の駆動手段による駆動力を第2の回動体の回動軸に伝達する動力伝達手段を設けたこと、(ロ) 第2の回動体の重心が第2のアームの回動軸上に略位置すること、を特徴とする多関節型ロボット。

【請求項2】 請求項1に記載した多関節型ロボットにおいて、第2の回動体の重心が第2のアームの回動軸上に略位置するように、第2の回動体にバランサーを設けたことを特徴とする多関節型ロボット。

【請求項3】 請求項1に記載した多関節型ロボットにおいて、第2の回動体に設けられる作用端の駆動部品を第2の回動体の回動軸を挟んで作用端とは反対側に位置させることによって、第2の回動体の重心が第2のアームの回動軸上に略位置するようにしたことを特徴とする多関節型ロボット。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、多関節型ロボットにおいてアーム間又はアームとツールとの間の力学的な干渉をなくし又は低減することを目的とした新規な多関節型ロボットを提供しようとするものである。

## 【0002】

【従来の技術】多関節型ロボットは複数のアームから構成され、アーム間あるいはアームとツールとの間の力学的な干渉を及ぼし合いながら運動制御が行われる。

【0003】図8は従来の水平多関節型ロボットの構成をモデル化して示すものである。

【0004】ロボットaは、基軸部bと、第1アームc、第2アームdとからなり、第1アームcの一端部が回動し得る状態で基軸部bに取り付けられている。そして、第1アームcの他端部には第2アームdの一端部が回動し得る状態で取り付けられており、第2アームdの他端部にはツール搭載軸eが設けられている。

$$P1 = l1 \cdot \exp(i \cdot \theta_1)$$

$$P2 = L1 \cdot \exp(i \cdot \theta_1) + l2 \cdot \exp(i \cdot (\theta_1 + \theta_2))$$

$$\frac{dP1}{dt} = l1 \cdot i \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \exp(i \cdot \theta_1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dP2}{dt} &= L1 \cdot i \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \exp(i \cdot \theta_1) \\ &\quad + l2 \cdot i \cdot \left( \frac{d\theta_1}{dt} + \frac{d\theta_2}{dt} \right) \cdot \exp(i \cdot (\theta_1 + \theta_2)) \end{aligned}$$

【0005】基軸部bには第1アームcを回動させるためにモータfとハーモニック減速機gとが設けられており、モータfの駆動力がハーモニック減速機gを介して第1アームcの回動力として伝達される。

【0006】第1アームcには、第2アームdを回動させるための機構が設けられている。例えば、図示するように第1アームcに固定された支持部hにモータi及びハーモニック減速機jが取り付けられており、ハーモニック減速機jの出力軸にブーリkが取り付けられている。iはブーリkと対をなすブーリであり、第2アームdの回動軸に固定されている。そして、ブーリkとブーリlとの間にベルトmが掛け渡されている。モータiの駆動力はハーモニック減速機jを介してブーリkの回動力となり、これがベルトmによってブーリlに伝達され、第2アームdの回動力となる。

【0007】図9はロボットaを平面で見たときの構成を略線的に表現したものであり、第1アームcの回動中心を原点Oとする2次元の位置座標系(X, Y)を基軸部bに設定している。

【0008】図9において点Cは第2アームdの回動中心を示し、点Eは手先位置を示しており、線分OC(長さ「L1」)によって第1アームcを表し、線分CE(長さ「L2」)が第2アームdを表している。また、角度「θ1」は線分OCがX軸に対してなす角度を示し、角度「θ2」は線分CEが線分OCの延長線に対してなす角度を示している。

【0009】点P1は第1アームcの重心位置、点P2は第2アームdの重心位置をそれぞれ示しており、線分OP1の長さが「l1」とされ、線分CP2の長さが「l2」とされている。

【0010】このように簡略化された力学系モデルについての運動方程式を導出するにあたって、X軸を実数軸とし、Y軸を虚数軸とする複素平面座標系を用いることによって位置や速度等を、複素表示で表現することができる。

【0011】例えば、各アームの重心位置やその1階の時間微分は複素量に拡張されて下式のように表わされる。

## 【0012】

## 【数1】

(3)

3

4

- 【0013】尚、ここで「i」は虚数単位である。 \* 【0015】  
 【0014】解析にあたって必要な物理量の記号を表形 【表1】  
 式にまとめたものが、下表1、2である。 \*

記号	意味
P 1	第1アームの重心位置
P 2	第2アームの重心位置
l 1	点P 1 の回動中心からの距離
l 2	点P 2 の回動中心からの距離
L 1	第1アームの長さ
L 2	第2アームの長さ
θ 1	第1アームのX軸に対する角度
θ 2	第2アームの第1アームに対する角度
M 1	第1アームの質量
M 2	第2アームの質量
I <sub>1c</sub>	第1アームの重心回りの慣性モーメント
I <sub>2c</sub>	第2アームの重心回りの慣性モーメント

【0016】

※ ※【表2】

記号	意味
m 1	第1アームの駆動モータの質量
m 2	第2アームの駆動モータの質量
I <sub>1e</sub>	第1アームの駆動モータのロータに関する慣性モーメント
I <sub>2e</sub>	第2アームの駆動モータのロータに関する慣性モーメント
R 1	第1アームに係るハーモニック減速機の減速比
R 2	第2アームに係るハーモニック減速機の減速比
T 1	第1アームに係るハーモニック減速機の出力軸でのトルク
T 2	第2アームに係るハーモニック減速機の出力軸でのトルク
I 1	第1アームの回動軸回りの慣性モーメント ( $I_{1c} + M_1 \cdot l_1^2$ )
I 2	第2アームの回動軸回りの慣性モーメント ( $I_{2c} + M_2 \cdot l_2^2$ )

- 【0017】第1アームcの回転角が $\theta_1$ である時のモータfの回転角は $R_1 \cdot \theta_1$ であり、第2アームdの回転角が $\theta_2$ である時のモータiの回転角は $R_2 \cdot \theta_2$ であるので、ロボット系の全運動エネルギーを「Ek」と

(4)

5

すると、下式のようになる。

【0018】

6

\* 【数2】

\*

$$\begin{aligned}
 E_k = & \frac{1}{2} \cdot M_1 \cdot \left| \frac{dP_1}{dt} \right|^2 + \frac{1}{2} \cdot M_2 \cdot \left| \frac{dP_2}{dt} \right|^2 \\
 & + \frac{1}{2} \cdot I_{1o} \cdot \left| \frac{d\theta_1}{dt} \right|^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{2o} \cdot \left| \frac{d\theta_1}{dt} + \frac{d\theta_2}{dt} \right|^2 \\
 & + \frac{1}{2} \cdot I_{n1} \cdot \left| R_1 \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \right|^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{n2} \cdot \left| R_2 \cdot \frac{d\theta_2}{dt} \right|^2
 \end{aligned}$$

【0019】速度の2乗値は複素数の絶対値として求め ※【0020】

られるので、E\_kは下式のようになる。 ※【数3】

$$\begin{aligned}
 E_k = & \frac{1}{2} \cdot (a+2 \cdot b \cdot \cos \theta_2) \cdot \left( \frac{d\theta_1}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot c \cdot \left( \frac{d\theta_2}{dt} \right)^2 \\
 & + (c+b \cdot \cos \theta_2) \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \frac{d\theta_2}{dt}
 \end{aligned}$$

但し、

$$\begin{aligned}
 a &= M_1 \cdot L_1^2 + M_2 \cdot L_1^2 + M_2 \cdot L_2^2 + I_{1o} + I_{2o} + I_{n1} \cdot R_1^2 \\
 &= I_1 + I_2 + M_2 \cdot L_1^2 + I_{n1} \cdot R_1^2
 \end{aligned}$$

$$b = M_2 \cdot L_1 \cdot L_2$$

$$c = M_2 \cdot L_2^2 + I_{2o} + I_{n2} \cdot R_2^2 = I_2 + I_{n2} \cdot R_2^2$$

【0021】ボテンシャルエネルギーはゼロであるの ★【数4】

で、ラグランジアンはE\_kに等しいことに注意してオイラー-ラグランジュ方程式に従って各アームに係る運動方程式（【数4】式）に【数3】式を適用すると、ハーモニック減速機の出力トルクが【数5】式のように求められる。

【0022】

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\pi}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \pi_i} = T_i \quad (i=1,2)$$

$$\text{但し、 } \pi_i = \frac{d\theta_i}{dt}$$

【0023】

★ 【数5】

$$\begin{aligned}
 T_1 = & (a+2 \cdot b \cdot \cos \theta_2) \cdot \frac{d^2 \theta_1}{dt^2} + (c+b \cdot \cos \theta_2) \cdot \frac{d^2 \theta_2}{dt^2} \\
 & - 2 \cdot b \cdot \sin \theta_2 \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \frac{d\theta_2}{dt} - b \cdot \sin \theta_2 \cdot \left( \frac{d\theta_2}{dt} \right)^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_2 = & c \cdot \frac{d^2 \theta_2}{dt^2} + (c+b \cdot \cos \theta_2) \cdot \frac{d^2 \theta_1}{dt^2} \\
 & + b \cdot \sin \theta_2 \cdot \left( \frac{d\theta_1}{dt} \right)^2
 \end{aligned}$$

【0024】尚、上式において摩擦等の粘性項の影響は無視している。

【0025】【数5】式において、T\_1に係る第1式の右辺第1項は慣性項を示し、第2項は第2アームdから受ける慣性力（トルク）を示しており、また、第3項はコリオリカ（トルク）を示し、第4項は第2アームdの回転による遠心力が第1アームcに及ぼすトルクを示している。

【0026】また、T\_2に係る第2式の右辺第1項は慣性項を示し、第2項は第1アームcから受ける慣性力（トルク）を示しており、また、第3項は第1アームc

40 の回転による遠心力が第2アームdに及ぼすトルクを示している。

【0027】各アームの運動についてはアーム自身の慣性項の他に干渉項が存在し、該干渉項の絶対値は慣性項と略同程度の大きさをもっているため無視することができない。

【0028】

【発明が解決しようとする課題】上記のように従来の多関節型ロボットにおいて、第1アームと第2アームとが互いに力学的な干渉を及ぼし合いかながら運動しているため、ロボットの手先位置について位置決めを行う際に静

(5)

7

定に要する時間を短縮することが困難であり、結果としてタクトタイムが長くなってしまうという問題がある。

【0029】これは、以下の（1）乃至（3）に示す事項が要因となっているからである。

（1）第1アームの運動に関して慣性項（〔数5〕式の第1式右辺第1項）が第2アームの姿勢に影響される（慣性項における $2 \cdot b \cdot c \cos \theta_2$ の項に注意）。

（2）第1アームは、第2アームの運動によって生じる慣性力や、コリオリカ、遠心力（〔数5〕式の第1式右辺第2項乃至第4項）の影響を受ける。

（3）第2アームは、第1アームの運動によって生じる慣性力や遠心力（〔数5〕式の第2式右辺第2項、第3項）の影響を受ける。

【0030】第1アームと第2アームとの間の複雑な干渉作用のため、位置や速度のフィードバック制御における最適ゲインがロボットの姿勢によって変化してしまい制御が難しくなってしまう。

【0031】

【課題を解決するための手段】そこで、本発明多関節型ロボットは、上記した問題を解決するために、基台上に設置された基軸部と、該基軸部に回動可能な状態で取り付けられた第1の回動体と、第1の回動体に回動可能な状態で取り付けられた第2の回動体とを備えた多関節型ロボットにおいて、以下の（イ）及び（ロ）の構成を有するようにしたものである。

【0032】（イ）第2の回動体を回動させるための駆動手段を基台又は基軸部に固定するとともに、該第2の回動体の駆動手段の駆動軸と第1の回動体の駆動手段の駆動軸とが略同軸になるように配置し、第2の回動体の駆動手段による駆動力を第2の回動体の回動軸に伝達する動力伝達手段を設ける。

【0033】（ロ）第2の回動体の重心が第2のアームの回動軸上に略位置する。

【0034】

【作用】本発明多関節型ロボットによれば、（イ）に示す構造を採用することによって、第1の回動体（上記ロボットでは第1アームに相当する。）の慣性項が第2の回動体（上記ロボットでは第1アームに相当する。）の姿勢に影響されないようにするとともに、第1の回動体にかかるコリオリカをなくし、（ロ）によって互いの相対的運動に起因して各回動体に生じる干渉項（慣性力、遠心力）を消失させることで各回動体が互いに干渉しないようにすることができるので、回動体の制御が容易になり、また、静定に要する時間を短縮することができる。

【0035】

【実施例】以下に、本発明多関節型ロボットの詳細を図示した実施例に従って説明する。

【0036】本発明ではロボットの構造に下記に示す2つの事項を取り入れる。

8

【0037】（I）第2アームの重心（P2）を第2アームの回動軸上に位置させる。

【0038】（II）第2アームを回動させるための駆動手段（モータや減速機等）を第1アームに取り付けず、基軸部又はその基台に固定された支持部材に取り付けることによって支持する。

【0039】先ず、（I）について説明すると、上記した〔数5〕式において $b=0$ とおくと、コリオリカ（〔数5〕式の第1式右辺第3項）と遠心力（〔数5〕

10 式の第1式右辺第4項、第2式右辺第3項）が消え、下式が得られる。

【0040】

【数6】

$$T1 = a \cdot \frac{d^2\theta_1}{dt^2} + c \cdot \frac{d^2\theta_2}{dt^2}$$

$$T2 = c \cdot \frac{d^2\theta_2}{dt^2} + c \cdot \frac{d^2\theta_1}{dt^2}$$

20 【0041】 $b=M_2 \cdot L_1 \cdot I_2$ であり、第2アームの質量 $M_2$ や第1アームの長さ $L_1$ をゼロとすることはできないので、 $b=0$ とするためには $I_2=0$ として第2アームの重心をその回動軸上に位置させれば良いことが分かる。

【0042】これによって、〔数6〕式の右辺が $\theta_1$ の2階微分と $\theta_2$ の2階微分との線形結合式となるため、アーム間の干渉の影響を低減することができる。

【0043】第2アームの重心をその回動軸上に位置させるためには、以下の方法を挙げることができる。

30 【0044】（イ）第2アームにウェイトを附加する方法。

【0045】図3（a）に概略的に示す水平多関節型ロボットにおいて、A1が第1アーム1の回動軸を示し、A2が第2アーム2の回動軸を示しており、第2アーム2の端部のうち手先とは反対側の端部にカウンターウェイト3を取り付け、カウンターウェイト3を取り付ける前における第2アームの重心P2を矢印Mに示すように移動させて回動軸A2上の重心G2に来るようバランスを調整する。

40 【0046】（ロ）ロボットの手先位置に設けられる末端効果器の駆動部品等をウェイトとして用いる方法。

【0047】図3（b）に示すように、第2アーム2の手先側の端部に設けられるツール搭載軸4の駆動モータ5をカウンターウェイトとして用い、第2アーム2の重心が回動軸A2上に来るようバランスを調整する。図ではツール搭載軸4の回動機構として駆動モータ5、ベルト6及び一对のブーリ7、7を使った例を示している。

【0048】（イ）の方法では、ウェイトの付加により50 第2アーム2の重心位置を自在に調整することができる

(6)

g

という利点がある反面、第2アーム2を含む関節系が全体的に重くなってしまうことになるが、(口)の方法では末端効果器の駆動源として元来必要な部品(駆動モータ5)をカウンターウェイトとして利用することができる。但し、(口)の方法では第2アーム2の重心位置の調整には部品の質量を任意に選べないという制約がある。尚、実際上は(イ)と(口)の方法を組み合せることによって両者の欠点を補うようにすれば良い。

【0049】次に、事項(I I)の説明に移る。

【0050】図1は第2アームを回動させるためのモータの支持について説明するために水平多関節型ロボットの構成をモデル化して示すものであり、図8に示したロボットとの違いは第2アームを回動させるためのモータ及びハーモニック減速機が基台に固定された支持部材によって支持されている点である。

【0051】ロボット8は、基軸部9と、第1アーム10、第2アーム11とからなり、基軸部9が基台12上に固定されている。そして、第1アーム10の一端部が回動し得る状態で基軸部9に取り付けられ、第1アーム10の他端部には第2アーム11の一端部が回動し得る状態で取り付けられており、第2アーム11の他端部にツール搭載軸13が設けられている。

【0052】基軸部9には第1アーム10を回動させるためにモータ14とハーモニック減速機15とが設けられており、モータ14の駆動力がハーモニック減速機15を介して第1アーム10の回動力として伝達される。

【0053】また、第2アーム11を回動させるためにモータ16とハーモニック減速機17が用いられ、これらは基台12に固定された支持部材18に取り付けられている。ハーモニック減速機17の出力軸にはブーリ19が取り付けられおり、該ブーリ19と対をなすブーリ20は、第2アーム11の回動軸に固定されている。そして、ブーリ19とブーリ20との間にベルト21が掛け渡されている。

【0054】従って、モータ16及びハーモニック減速機17は第1アーム10の運動には全く無関係であって常に静止状態を保っており、モータ16の駆動力がハーモニック減速機17を介してブーリ19の回動力となり、これがベルト21によってブーリ20に伝達され、第2アーム11の回動力となる。尚、モータ16の駆動軸とモータ14の駆動軸とは同軸上に位置されている。

【0055】図2はロボット8を平面で見たときの構成を略線的に表現したものであり、図9と同様に第1アーム

10

\* ム10の回動中心を原点Oとする2次元の位置座標系(X, Y)を基軸部9に設定している。

【0056】図2において点C、E、P1、P2、長さL1、L2、l1、l2、角度θ1については上述した通りである。

【0057】角度「θ3」は第2アーム11がX軸に対してなす角度であり、第2アーム11の駆動源であるモータ16が支持部材18に固定されていることから明らかなように、モータ16に係る回動角はそのまま第2アーム11の回動角となる。

【0058】この力学系モデルについての運動方程式を導出するにあたって、前記のようにX軸を実数軸とし、Y軸を虚数軸とする複素平面座標系を用いることによって位置や速度等を複素表示で表現すると、各アームの重心位置やその1階の時間微分は複素量に拡張されて下式のように表わされる。

【0059】

【数7】

$$P1 = l1 \cdot \exp(i \cdot \theta1)$$

$$P2 = L1 \cdot \exp(i \cdot \theta1) + l2 \cdot \exp(i \cdot \theta3)$$

$$\frac{d P1}{dt} = l1 \cdot i \cdot \frac{d \theta1}{dt} \cdot \exp(i \cdot \theta1)$$

$$\frac{d P2}{dt} = L1 \cdot i \cdot \frac{d \theta1}{dt} \cdot \exp(i \cdot \theta1)$$

$$+ l2 \cdot i \cdot \frac{d \theta3}{dt} \cdot \exp(i \cdot \theta3)$$

【0060】尚、ここで「i」は虚数単位である。

【0061】解析にあたって必要な物理量の記号については前記した【表1】、【表2】に示す記号のうちT1、T2を除く全てを援用し、T1、T2の代わりにT1'、T2'を用いることにする。つまり、「T1」はハーモニック減速機15の出力軸に係るトルクを示し、「T2」はハーモニック減速機17の出力軸に係るトルクを示す。

【0062】第1アーム10の回転角がθ1である時のモータ14の回転角はR1・θ1であり、第2アーム11の回転角がθ3である時のモータ16の回転角はR2・θ3であるので、ロボット系の全運動エネルギーを「Ek'」とすると、下式のようになる。

【0063】

【数8】

$$Ek' = \frac{1}{2} \cdot M1 \cdot \left| \frac{d P1}{dt} \right|^2 + \frac{1}{2} \cdot M2 \cdot \left| \frac{d P2}{dt} \right|^2$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot I_{1o} \cdot \left| \frac{d \theta1}{dt} \right|^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{2o} \cdot \left| \frac{d \theta3}{dt} \right|^2$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot I_{n1} \cdot \left| R1 \cdot \frac{d \theta1}{dt} \right|^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{n2} \cdot \left| R2 \cdot \frac{d \theta3}{dt} \right|^2$$

(7)

11

【0064】 [数7] 式及び [数8] 式から下式 [数9] が得られる。尚、その際、速度の2乗値は複素数の絶対値として求めれば良い。

【0065】

【数9】

$$E k' = \frac{1}{2} \cdot a' \cdot \left( \frac{d\theta_1}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot c \cdot \left( \frac{d\theta_3}{dt} \right)^2 \\ + b \cdot \cos(\theta_1 - \theta_3) \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \frac{d\theta_3}{dt}$$

但し、

$$a' = M_1 \cdot I_1^2 + M_2 \cdot L_1^2 + I_{1c} + I_{n1} \cdot R_1^2 \\ = I_1 + M_2 \cdot L_1^2 + I_{n1} \cdot R_1^2 = a - I_2$$

$$b = M_2 \cdot L_1 \cdot I_2$$

$$c = M_2 \cdot I_2^2 + I_{2c} + I_{n2} \cdot R_2^2 = I_2 + I_{n2} \cdot R_2^2$$

$$T1' = a' \cdot \frac{d^2\theta_1}{dt^2} + b \cdot \cos(\theta_1 - \theta_3) \cdot \frac{d^2\theta_3}{dt^2} \\ + b \cdot \sin(\theta_1 - \theta_3) \cdot \left( \frac{d\theta_3}{dt} \right)^2$$

$$T2' = c \cdot \frac{d^2\theta_3}{dt^2} + b \cdot \cos(\theta_1 - \theta_3) \cdot \frac{d^2\theta_1}{dt^2} \\ - b \cdot \sin(\theta_1 - \theta_3) \cdot \left( \frac{d\theta_1}{dt} \right)^2$$

【0069】 [数11] 式において  $T1'$  に係る第1式の右辺第1項は慣性項を示し、第2項は第2アーム11から受ける慣性力（トルク）を示しており、また、第3項は第2アーム11の回転による遠心力が第1アーム10に及ぼすトルクを示している。

【0070】 そして、  $T2'$  に係る第2式の右辺第1項は慣性項を示し、第2項は第1アーム10から受ける慣性力（トルク）を示しており、第3項は第1アーム10の回転による遠心力が第2アーム11に及ぼすトルクを示している。

【0071】 尚、前記 [数5] 式との比較から明らかのように、第1アーム10に係るコリオリ力は消失しているが、慣性力や遠心力に係る干渉項は未だ残っている。

【0072】 さて、 [数11] 式において  $b=0$  とおくと、干渉項が消えて下式が得られる。

【0073】

【数12】

$$T1' = a' \cdot \frac{d^2\theta_1}{dt^2}$$

$$T2' = c \cdot \frac{d^2\theta_3}{dt^2}$$

(7)

12

【0066】 ラグランジアンが  $E k'$  に等しいことに注意してオイラーーラグランジュ方程式 ([数10] 式) に従って各アームに係る運動方程式を導くと、ハーモニック減速機15、17の出力トルクが [数11] 式のように求められる。尚、摩擦等の粘性項の影響は無視している。

【0067】

【数10】

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E k'}{\partial \pi_1} \right) - \frac{\partial E k'}{\partial \theta_1} = T1'$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E k'}{\partial \pi_3} \right) - \frac{\partial E k'}{\partial \theta_3} = T2'$$

$$\text{但し、 } \pi_i = \frac{d\theta_i}{dt} \quad (i=1,3)$$

【0068】

【数11】

$$T1' = a' \cdot \frac{d^2\theta_1}{dt^2} + b \cdot \cos(\theta_1 - \theta_3) \cdot \frac{d^2\theta_3}{dt^2}$$

$$+ b \cdot \sin(\theta_1 - \theta_3) \cdot \left( \frac{d\theta_3}{dt} \right)^2$$

【0074】 上式は、第1アーム10と第2アーム11の運動がそれぞれ自己の慣性項だけに依存することを示しており、2つのアーム間には全く干渉がなくなり、よってロボット系として非干渉系を構築することができる。

【0075】  $b=0$  とするためには、(イ)、(ロ) の方法があることは前述した通りであるが、図8に示すロボット系と図1に示すロボット系ではその効果に差異がある。即ち、前者では  $b=0$  とおくことによってアーム間の干渉の程度を小さくしたにすぎないのに対して、後者では  $b=0$  とおくことによって各アームを独立系として制御するようになる。

【0076】 尚、図1では、モータ16やハーモニック減速機17を支持する支持部材18を基台12に固定した例を示したが、支持部材18を基軸部9に取り付けるようにしても良いことは勿論である。

【0077】 図4及び図5は、上記事項 (I)、(II) を取り入れたロボットの構成例を概略的に示すものである。

【0078】 図4に示すロボット22では、その基軸部23内に第1アーム24を回動させるためのモータ25とハーモニック減速機26が設けられており、モータ25の駆動力がハーモニック減速機26の出力軸に固定さ

(8)

13

れた回動軸 27 に伝達されるようになっている。そして、回動軸 27 の上端部が第 1 アーム 24 に固定されている。

【0079】28 は第 2 アームであり、29 は該第 2 アーム 28 を回動させるためのモータである。モータ 29 は、側面から見て L 字状をした支持部材 30 に固定されており、該支持部材 30 の下端部は基軸部 23 の側面から側方に張り出したモータ収納部 31 の上端面に固定されている。

【0080】32 はハーモニック減速機であり、支持部材 30 の下面に固定されている。第 1 アーム 24 の上面には軸受ホルダー 33 が取り付けられており、その内周面に設けられた軸受 34 を介してハーモニック減速機 32 が支持されている。つまり、ハーモニック減速機 32 は支持部材 30 に固定されているので、軸受 34 を用いてハーモニック減速機 32 を支持することによって第 1 アーム 24 の回動に支障を来さない構造を採っている。

【0081】ハーモニック減速機 32 の出力軸は上記回動軸 27 と同軸に配置されており、その下端部にはブーリ 35 が固定されており、該ブーリ 35 と第 2 アーム 28 の回動軸 36 に固定されたブーリ 37 との間にはスチールベルト 38 が掛け渡されている。尚、回動軸 36 の上端部は第 1 アーム 24 の回動端部に設けられた軸受 39 により支持され、その下端部は第 2 アーム 28 に固定されている。

【0082】40 はツール搭載軸であり、上下方向に沿う摺動と軸回りの回動が各別のモータによって行われるようになっている。

【0083】回動軸 36 の近くに設けられたモータ 41 はツール搭載軸 40 を上下方向に摺動させるための駆動源であり、その出力軸に固定されたブーリ 42 と、これからツール搭載軸 40 に近づく方向に所定の距離をおいて配置されたブーリ 43 との間にはスチールベルト 44 が掛け渡されている。

【0084】ブーリ 43 は、ツール搭載軸 40 に近くにおいてこれに平行に延びるボールネジ 45 を回転するために設けられており、ボールネジ 45 の回転によってこれに係合されたボールナット 46 が上下方向に移動するようになっている。尚、ボールネジ 45 の下端部は軸受 47 によって支持されており、また、その上端部は、第 2 アーム 28 の上面に立設されたガイド部材 48 に設けられた軸受 49 によって支持されている。

【0085】50 はツール搭載軸 40 の支持部材であり、ボールナット 46 に固定されている。ツール搭載軸 40 の上端部はこの支持部材 50 に設けられる軸受 51 によって回動自在に支持されている。

【0086】よって、モータ 41 の駆動力がスチールベルト 44 を介してブーリ 42 からブーリ 43 へと伝達されることによってボールネジ 45 が回動し、ボールナット 46 及び支持部材 50 が上下方向に沿って移動され、

(14)

これによってツール搭載軸 40 の上下移動が行われる。【0087】ツール搭載軸 40 の回動は基軸部 23 のモータ収納部 31 内に設けられたモータ 52 を駆動源として、ブーリ及びスチールベルトを使った機構によって行われる。

【0088】即ち、モータ 52 の出力軸にはブーリ 53 が固定されており、該ブーリ 53 と回動軸 27 に外挿された中間ブーリ 54 の下部との間にスチールベルト 55 が掛け渡されている。尚、中間ブーリ 54 は軸受 56、56 を介して回動軸 27 に回動自在な状態で外挿されている。また、第 2 アーム 28 の回動軸 36 には中間ブーリ 57 が軸受 58、58 を介して回動自在な状態で外挿されており、その上部と上記中間ブーリ 57 の上部との間にスチールベルト 59 が掛け渡されている。そして、ツール搭載軸 40 に外挿されたブーリ 60 と中間ブーリ 57 の下部との間にはスチールベルト 61 が掛け渡されている。

【0089】よって、モータ 52 の駆動力はスチールベルト 55 を介して中間ブーリ 54 に伝達され、さらにこれがスチールベルト 59、61 を介して中間ブーリ 57、ブーリ 60 へと伝達されてツール搭載軸 40 の回動力となる。尚、このようにモータ 52 を基軸部 23 内に配置することによって第 2 アーム 28 にかかる重量を軽減している。

【0090】62 は第 2 アーム 28 の回動軸 36 側の端部に取り付けられたカウンターウェイトであり、第 2 アーム 28 の重心をその回動軸 36 上に位置させるために設けられている。

【0091】尚、図 5 のロボット 22A に示すように、ツール搭載軸 40 の上下移動に係るモータ 41 をカウンターウェイトとして用いても良いことは前述した通りである。即ち、モータ 41 を第 2 アーム 28 の回動軸 36 側の端部に配置すれば良い。

【0092】図 6 及び図 7 は従来のロボット（図 8 の構成を有する。）と本発明に係るロボットとある姿勢で運動させた時のモータ電流の違いを示すものである。

【0093】図 6 は従来のロボットに係るモータ電流の波形を概略的に示すものであり、図中の「I (1)」がモータ f の電流を示し、「I (2)」がモータ i の電流を示している。尚、グラフの横軸 t は時間をしている。

【0094】図 6 (a) において左側に示す波形図は、右側の図に示すように第 1 アーム c だけを  $90^\circ$  回動させた場合 ( $\theta_1 = 90^\circ$ 、 $\theta_2 = 0^\circ$ ) の電流波形を示しており、図 6 (b) において左側に示す波形図は、右側の図に示すように第 2 アーム d だけを  $108^\circ$  回動させた場合 ( $\theta_1 = 0^\circ$ 、 $\theta_2 = 108^\circ$ ) の電流波形を示している。そして、図 6 (c) において左側に示す波形は、右側の図に示すように、図 6 (a) 及び図 6 (b) の動作を合成した動作を行った場合、つまり、第

(9)

15

1アームcを90°回動させながら第2アームdを10°回動させた場合( $\theta_1=90^\circ$ 、 $\theta_2=108^\circ$ )の電流波形を示している。

【0095】図6(a)及び図6(b)に示すように、回動させない方のアームの駆動モータにも電流が流れおり、また、図6(c)の電流波形が図6(a)の電流波形と図6(b)の電流波形とを重ね合わせた波形となっていないことが分かる。

【0096】図7は本発明に係るロボットについてのモータ電流の波形を概略的に示すものであり、図中の「I(1)」がモータ25の電流を示し、「I(2)」がモータ29の電流を示している。尚、グラフの横軸tは時間を示している。

【0097】図7(a)において左側に示す波形図は、右側の図に示すように第1アーム24だけを90°回動させた場合( $\theta_1=90^\circ$ 、 $\theta_3=0^\circ$ )の電流波形を示しており、図7(b)において左側に示す波形は、右側の図に示すように第2アーム28だけを108°回動させた場合( $\theta_1=0^\circ$ 、 $\theta_3=108^\circ$ )の電流波形を示している。尚、前記(I1)の事項により、図7

(a)において $\theta_3=0^\circ$ であることは、第1アーム24を回動する前の第2アーム28と、第1アーム24を回動した後の第2アーム28とが平行になることを意味する点に注意を要する。また、図7(c)において左側に示す波形図は、右側の図に示すように、図7(a)及び図7(b)の動作を合成した動作を行った場合、つまり、第1アーム24を90°回動させながら第2アーム28を108°回動させた場合( $\theta_1=90^\circ$ 、 $\theta_3=108^\circ$ )の電流波形を示している。

【0098】図7(a)及び図7(b)に示すように、回動させない方のアームの駆動モータの電流は略ゼロであり、また、図7(c)の各電流波形が図7(a)の電流波形と図7(b)の電流波形とを重ね合わせた波形又はこれに近い傾向をもった波形となっており、この事は

【数12】式に示したように第1アーム24と第2アーム28とが非干渉系を構成していることを裏付けている。

【0099】

【発明の効果】以上に記載したところから明らかなように、本発明多関節型ロボットによれば、第2の回動体を回動させるための駆動手段を基台又は基軸部に固定するとともに、該第2の回動体の駆動手段の駆動軸と第1の回動体の駆動手段の駆動軸とが略同軸になるように配置して第2の回動体の駆動力を動力伝達手段によって第2の回動体の回動軸に伝えるようにロボット系を構成することによって、第1の回動体の慣性項が第2の回動体の姿勢に影響されないようにするとともに、第1の回動体にかかるコリオリ力をなくし、さらに第2の回動体の重心をその回動軸上に位置させることによって互いの相対的運動に起因して各回動体に生じる干渉項(慣性力、遠

16

心力)を消失させ、各回動体が互いに干渉作用を及ぼし合わないようにすることができる。

【0100】これによって、各回動体についてのフィードバック制御のゲインを最適な値に調整することが可能となり、その結果、ロボットの静定に要する時間やタクトタイムを大幅に短縮することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明多関節型ロボットの構成について説明するための概略図である。

10 【図2】平面から見た場合の図1のロボットを略線的に示す図である。

【図3】第2アームに係るバランス調整の方法について説明するための図であり、(a)は第2アームにカウンターウェイトを附加した例を示し、(b)はツール搭載軸の駆動モータをカウンターウェイトに流用した例を示す。

【図4】本発明に係る多関節型ロボットの構成例を概略的に示す透過側面図である。

20 【図5】本発明に係る多関節型ロボットの変形例を概略的に示す透過側面図である。

【図6】従来の多関節型ロボットについてのモータ電流をアームの動きとともに示す図であり、(a)は第1アームだけを回動させた場合、(b)は第2アームだけを回動させた場合、(c)は第1アーム及び第2アームを回動させた場合をそれぞれ示している。

【図7】本発明に係る多関節型ロボットについてのモータ電流をアームの動きとともに示す図であり、(a)は第1アームだけを回動させた場合、(b)は第2アームだけを回動させた場合、(c)は第1アーム及び第2アームを回動させた場合をそれぞれ示している。

30 【図8】従来の多関節型ロボットの構成について説明するための概略図である。

【図9】平面から見た場合の図8のロボットを略線的に示す図である。

【符号の説明】

1 第1アーム(第1の回動体)

2 第2アーム(第2の回動体)

3 カウンターウェイト(バランサー)

5 モータ(駆動部品)

40 8 多関節型ロボット

9 基軸部

10 第1アーム(第1の回動体)

11 第2アーム(第2の回動体)

12 基台

13 ツール搭載軸(作用端)

14、15 第1の回動体の駆動手段

16、17 第2の回動体の駆動手段

19、20、21 動力伝達手段

22 多関節型ロボット

50 22A 多関節型ロボット

(10)

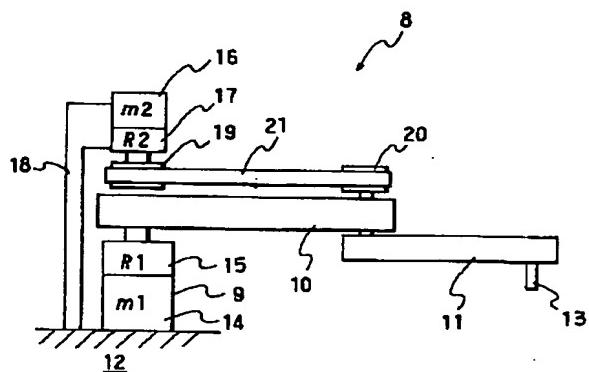
17

- 23 基軸部  
 24 第1アーム（第1の回動体）  
 25、26 第1の回動体の駆動手段  
 28 第2アーム（第2の回動体）  
 29、32 第2の回動体の駆動手段

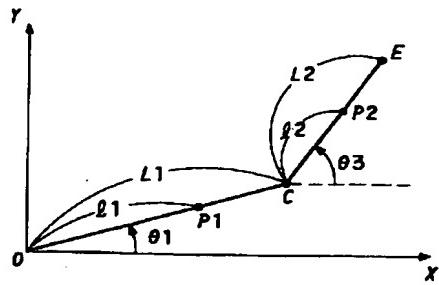
18

- 35、37、38 動力伝達手段  
 40 ツール搭載軸（作用端）  
 41 モータ（駆動部品）  
 62 カウンターウェイト（バランサー）

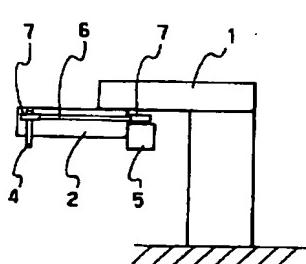
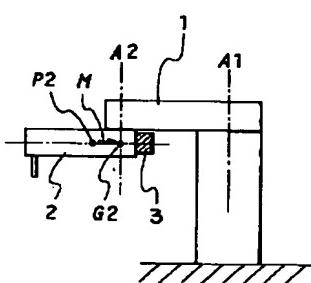
【図1】



【図2】



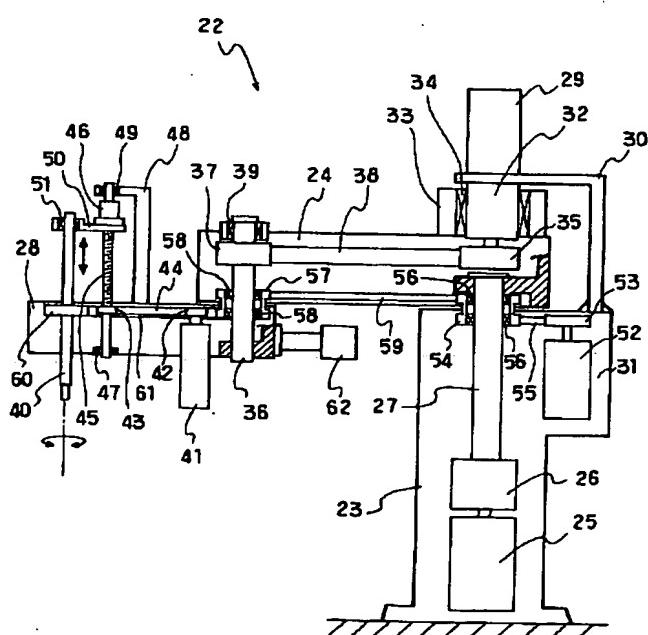
【図3】



(a)

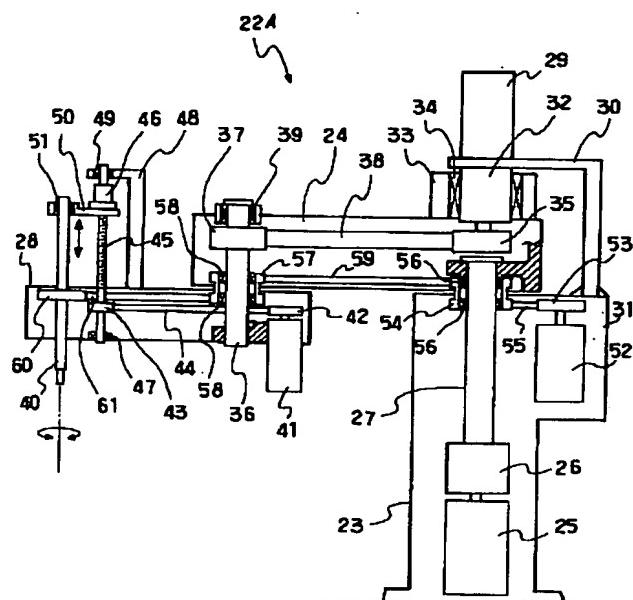
(b)

【図4】

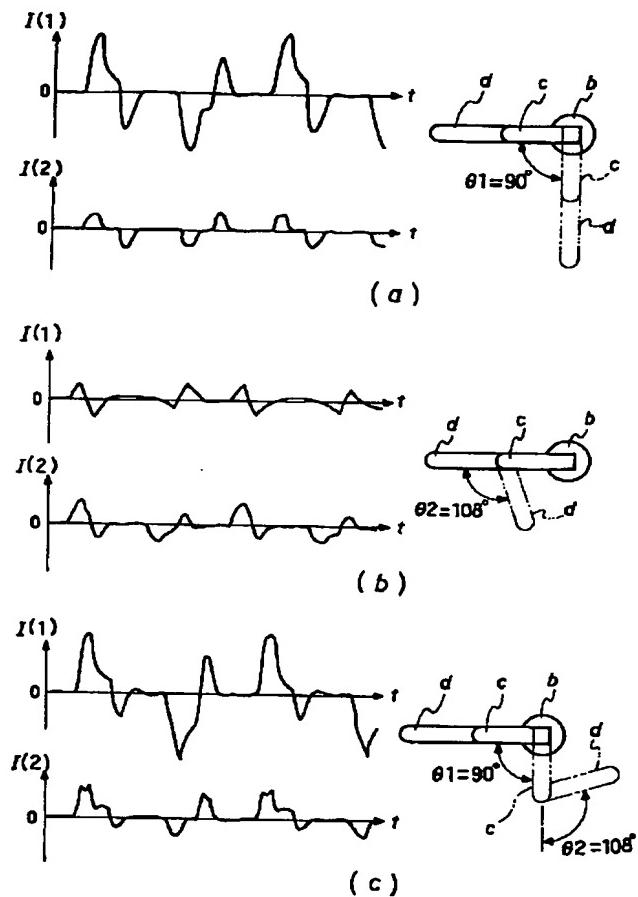


(11)

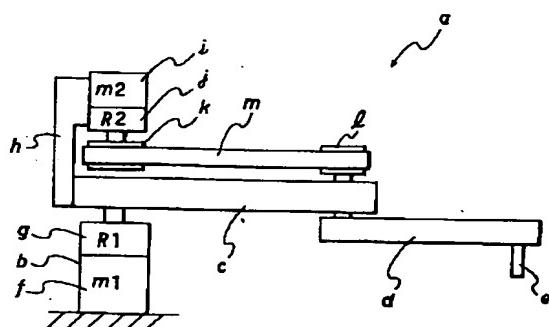
【図5】



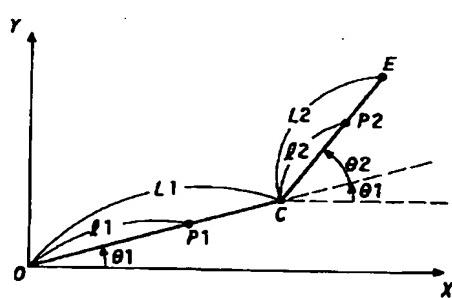
【図6】



【図8】



【図9】



(12)

【図7】

